

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: X2013230487

UDC _____

厦门大学

工程硕士学位论文

基于 ZigBee 的消防员室内定位系统 设计和实现

Design and Implementation of Positioning System for
Fireman Based on ZigBee

林 群

指导教师: 廖明宏教授

专业名称: 软件工程

论文提交日期: 2015 年 3 月

论文答辩日期: 2015 年 4 月

学位授予日期: 2015 年 月

指导教师: _____

答辩委员会主席: _____

2015 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人提交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

近年来火灾的次数呈几何倍数增长，很多消防员都在救火中失去生命。房屋的倒塌、烟雾引起的窒息、烧伤等都是严重威胁生命安全的因素。很多火灾场面十分凄惨，房屋倒塌的瞬间，作为救人者的消防员却无力自救，如果没人能及时帮助他们，只能看着一个个鲜活的生命瞬间离去。当前消防员只是依靠呼救器来实现救助，在实际的火灾中，呼救器存在很多弊端，比如无法判断消防员的位置，比如无法及时监控到消防员周围的环境变化等等。很多科学家都在研究，怎样才能在浓烟滚滚和烟火中锁定消防员的位置，并能够实现全程监控，这就能够在危险的突发情况中及时的对陷入险境的消防官兵们进行援助和救助，这对保障消防员生命安全有着重要的意义。

本文通过介绍 ZigBee 技术的相关内容，利用其组网能力实现无线定位设想。并通过运算方法的介绍和改进，形成较为完善的定位算法，这也是本论文研究的目的和核心。同时分析了利用节点算法实现对盲节点位置的正确定位，并进行一系列的实验分析其优点与不足并将其运用到消防员室内定位系统的设计中来，这是本论文研究的重点。ZigBee 技术有其优势也存在不足，但是在目前对于准确判断消防员在火灾现场的定位有着重大意义，实验结果表明这项技术消防员室内定位系统中的运用的确是可行的。

关键字：ZigBee 技术；消防员定位；室内无线定位

Abstract

In recent years, the number of fires grow exponentially, many firefighters have lost their lives in the fire. Houses collapsed, choking smog caused by burns are a serious threat to life safety factors. Many fire scene is very sad, instant houses collapsed and firefighters can not afford to help themselves, if nobody to help them, can only look at a fresh life moment to leave. Current firefighters just rely HuJiuQi to achieve relief, in the actual fire, call for help, there are many drawbacks, can not determine the location of firefighters. Many scientists are studying how to lock the position of firefighter smoke billowing and fireworks, and to achieve full control, which can be timely aid and assistance, which is to protect the safety of firefighters is significant.

This paper introduces ZigBee technology related content, using its wireless networking capability positioning vision. And through the introduction and improvement of calculation methods, the formation of the most perfect location algorithm, which is the purpose and core of this thesis. Simultaneous analysis of the proper use of node localization algorithm for blind node location, which is the focus of this thesis. ZigBee technology has its advantages there are also inadequate, but at present, for firefighters positioned accurately determine the fire scene is of great significance.

Key words: ZigBee Technology; Fireman Positioning; Indoor Wireless Location

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 课题研究背景与意义	1
1.2 人员定位技术的国内外研究现状	2
1.3 主要研究内容	5
1.4 论文章节安排	6
第 2 章 ZIGBEE 技术简介	8
2.1 ZigBee 技术特点	8
2.2 ZigBee 网络设备和拓扑结构	9
2.3 ZigBee 协议规范介绍	10
2.4 本章小结	11
第 3 章 系统需求分析及方案设计	13
3.1 消防员室内定位系统的需求分析与工作原理	13
3.1.1 系统需求分析	13
3.1.2 系统的工作原理	14
3.2 消防员室内定位系统的整体框架设计	16
3.2.1 全功能整体框架设计	17
3.2.2 简化功能设备整体框架设计	17
3.3 消防员室内定位系统的可扩展性设计	18
3.4 本章小结	18
第 4 章 ZIGBEE 室内定位技术算法改进	19
4.1 最大概似估计质心定位算法误差分析	19
4.1.1 基于测距的定位算法	19
4.1.2 非基于测距的定位算法	20
4.1.3 最大概似估计质心定位算法分析及测试	21
4.2 基于 RSSI 校正模型改进定位算法	22

4.2.1 基于 RSSI 校正改进算法的提出	22
4.2.2 基于 RSSI 校正改进算法的具体实施	29
4.3 基于 RSSI 校正算法的分析及测试	33
4.3.1 测试环境设置	33
4.3.2 测试结果及其分析	34
4.4 本章小结	35
第 5 章 消防员室内无线定位技术软硬件实现	36
5.1 消防员室内无线定位技术硬件平台介绍	36
5.1.1 Q2530RF 射频模块介绍	36
5.1.2 Q2530EB 多功能开发板	38
5.1.3 相关硬件开发	39
5.1.4 仿真器介绍	39
5.2 无线定位技术软件平台介绍及实现	40
5.2.1 在 Packet_Sniffer 抓包软件中仿真器 SRF04EB 的应用	40
5.2.2 IAR 软件的使用	41
5.2.3 ZigBee 协议栈运行机制	42
5.2.4 消防员无线定位系统代码实现过程	44
5.3 ZigBee 路由器和协调器位置对盲节点定位的影响	48
5.4 ZigBee 盲节点移动速度对定位精度的影响	48
5.5 本章小结	49
第 6 章 上位机实时监控软件实现	50
6.1 上位机运行系统的介绍	50
6.2 上位机操作流程	51
6.2.1 上位机登陆界面	51
6.2.2 定位界面	51
6.3 本章小结	54
第 7 章 消防员室内定位系统测试	55
7.1 测试环境和条件	55
7.2 功能与性能测试及数据分析	55
7.3 本章小结	58

第 8 章 总结与展望	59
8.1 总结	59
8.2 展望	59
参考文献	61
致 谢	63

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research background and significance.....	1
1.2 Current research personnel positioning technology	2
1.3 Content and main work.....	5
1.4 Organizational Structure and dissertation chapters arranged	6
Chapter 2 ZigBee and related concepts	8
2.1 ZigBee Technical Features	8
2.2 ZigBee network device and topology	9
2.3 ZigBee protocol specification describes	10
2.4 Sections of this chapter	11
Chapter 3 System Requirements Analysis and Design	13
3.1 Needs analysis and works firefighters indoor positioning system.....	13
3.1.1 System Requirements Analysis.....	13
3.1.2 The system works	14
3.2 Overall framework firefighters indoor positioning system design.....	16
3.2.1 Design of the overall framework of a fully functional	17
3.2.2 The overall framework designed to simplify the function of the device	17
3.3 Firefighters indoor positioning system scalability design	18
3.4 Sections of this chapter	18
Chapter 4 Firefighters indoor wireless positioning technology improved algorithm	19
4.1 Maximum likelihood estimate centroid localization algorithm error analysis.....	19
4.1.1 Localization algorithm based on distance.....	19
4.1.2 Non-localization algorithm based on distance D_i	20
4.1.3 The maximum likelihood estimate of the centroid localization algorithm analysis and experimental test results	21
4.2 RSSI Calibration model based on improved localization algorithm.....	22

4.2.1 Based on RSSI Calibration improved algorithm proposed.....	22
4.2.2 Based on the specific RSSI Calibration improved algorithm implemented.....	29
4.3 Based on RSSI Calibration algorithm simulation and analysis.....	33
4.3.1 Test environment setup	33
4.3.2 Test Results and Analysis	34
4.4 Sections of this chapter	35
Chapter 5 Firefighters indoor wireless location technology hardware and software to achieve	36
5.1 Firefighters indoor wireless positioning technology hardware platform to introduce.....	36
5.1.1 High-performance 2.4G RF modules -Q2530RF	36
5.1.2 Versatile development board Q2530EB	38
5.1.3 Related hardware development.....	39
5.1.4 Emulator Introduction.....	39
5.2 Firefighters indoor wireless location technology software platform and software introduced	40
5.2.1 SmartRF4EB used under SmartRF Packet_Sniffer environment	40
5.2.2 Using the IAR software	41
5.2.3 ZigBee protocol stack operating mechanism.....	42
5.2.4 Firefighters wireless positioning system code implementation process	44
5.3 ZigBee coordinator and routers affect the layout of the unknown node location.....	48
5.4 ZigBee blind node affect the movement speed of the positioning accuracy	48
5.5 Sections of this chapter	49
Chapter 6 Real-time monitoring software.....	50
6.1 PC operation of the system introduced	50
6.2 PC operation process introduced	51
6.2.1 Login screen.....	51
6.2.2 Navigation interface.....	51
6.3 Sections of this chapter	54

Chapter 7 Firefighters indoor positioning system testing.....	55
7.1 Test environment and conditions	55
7.2 Functional and performance testing and data analysis.....	55
7.3 Sections of this chapter	58
Chapter 8. Summary and Outlook.....	59
8.1 Summary.....	59
8.2 Outlook.....	59
References.....	61
Acknowledgements	63

第一章 绪论

1.1 课题研究背景与意义

俗话说：水火无情。火灾是自然灾害中发生频率最多的灾难之一，它威胁着公众的安全，烧毁了许多的财物，给社会带来巨大的灾难。虽然现代的消防技术不断地发展，消防员救火的速度和质量都在提高，从火海中抢救出的生命不断增多，但是火灾造成的损失依然巨大，消防员的个人安全也不容忽视。近年来火灾的次数呈几何倍数增长，很多消防员都在救火中失去生命。房屋的倒塌、烟雾引起的窒息、烧伤等都是严重威胁生命安全的因素。在这些因素中，房屋倒塌是威胁官兵生命的最大威胁，而爆炸不仅能够夺取生命还能够造成严重烧伤。另外在处理化学物质时，毒气也是威胁生命的一大杀手。很多火灾场面十分凄惨，房屋倒塌的瞬间，消防员根本无力自救，如果没人帮助他们，只能看着一个个鲜活的生命瞬间离去。很多科学家都在研究，怎样才能浓烟滚滚和烟火中锁定消防员的位置，及时的进行援助和救助，这对保障消防员生命安全有着重要的意义。一旦掌握这一技术，无论消防员处于如何恶劣的环境，后方平台都能够及时而准确的获取消防员信息，判断消防员所处的位置以及周围的环境，进行有效的救助。消防员肩负救火重任，身处在极度恶劣和危险的环境中，保护消防员的人生安全具有重要的意义。

ZigBee 技术是一项新兴的无线网络技术，它能够快速的短距离的传递信息，无论在成本、能耗、复杂度等方面，要求都不高。特别是在链路层及物理层利用了 IEEE802.15.4 的标准，并对网络层、应用支持模块以及安全模块进行扩容，这一举措有效的提升了信息覆盖的能力。ZigBee 技术具有低成本、低能耗等优势，是当前一种较为优质的无线通信技术，这一技术利用无线功能将传感器信息建立成网络联系，尤为适用于当前课题所研究的消防人员室内定位系统。

本论文采用了 ZigBee 技术用以判定火场中消防内攻人员所处的准确位置。在 ZigBee 技术中，路由器转发及接收由终端节点所传输的数据，因为 ZigBee 技术能够实现组网特性，各种数据信息通过系统能够生成 RSSI 值，其数据能够判断接收、发射节点二者的位置转移，并且通过后面讨论的算法利用这一位置变换

数据，达到获取忙的位置的目的。第二点，由于 ZigBee 技术是一直叫为简易便利的技术，这也导致该技术对于室内定位的准确性较其他同类技术低，容易使系统产生偏差，基于这种偏差可以利用映射算法计算出 RSSI 区间距离，并运用 RSSI 校正模型进一步完善原来的算法，形成新的定位算法，新的算法能够满足各种不同环境，特别是适合消防员在极端恶劣的环境中。为了获得更加全面的系统，本论文注重探讨了实际路由节点^[1, 2]和未知节点之间的位置关系，分析出本系统能够满足任何状况下实现定位的目的。除了这种定位系统，还可以利用三维技术进行定位，能够快速检测定位的高度，这种方法不仅方便简洁，而且快捷准确。最后，消防员在火灾现场情况复杂，为了实现监控消防员的实际位置，可以设计相对应的监控软件完成这一任务。该监控软件将由 ZigBee 系统中的协调器及计算机连接 RS232 串口线^[3]来实现，利用该软件，能够准确的判断消防员所处的位置，并能够检测出消防员周围环境的温度和其他状况，指挥中心就可以通过搜集的数据采取适当的救援策略，尽可能的保障消防员的生命安全。

本论文最后阐述了消防员室内定位技术存在的不足和缺陷，同时提出了改善的意见和扩大的策略，并针对本系统提出了切实可行的建议。

1.2 人员定位技术的国内外研究现状

笔者通过大量的文献调查发现，目前的定位技术种类繁多，比如手机定位、卫星定位、GPSOne 定位、RFID 定位、UWB 技术等，虽然类型很多，但是定位的形式都比较单一，大多数通过通信技术实现定位目的，对环境要求较高，对于消防员来说，经常身处复杂环境，无法实现人员准确定位。当前，对消防员的定位技术主要通过 GPS 定位或者通过个别的局域网实现无线定位。GPS 定位经常受到环境影响，信号断开或者信号微弱，都无法及时获取消防员的位置信息。利用局域网的无线通信定位时，信号强弱、距离等都会造成信号失真，无法判断准确位置。现在世界各国通常采用以上两种定位方式相结合的策略实现定位。消防员佩戴 GPS 节点，同时结合无线定位技术，通过质心算法或者其他方法，求出消防员实际位置坐标，确定消防员准确位置。但是 GPS 信号时常会断掉，后台只能根据惯性进行推测，所得数据就会产生较大误差，无法准确判断消防员的真实位置。

本论文在分析现有定位方法的基础上，提出运用 ZigBee 技术，利用这种新

技术高超的组网能力，灵活的算法来实现全新的无线定位技术。当前通用定位技术大致可以分为以下几类：

1.RFID 定位技术^[10]

这种技术能够高效快捷的锁定定位对象，具有很强的识别能力。RFID 定位技术还具有防水、防磁、防污等功能，无论环境如何恶劣，射频信号都不会受到干扰。此技术对消防员的定位具有深远的意义，能在火灾这种恶劣环境中，快速的找出被困消防员，以便及时抢救生命。

RFID 系统的主要构成为天线、读写器以及标签，消防员在火灾现场中，携带的标签就会发出射频信号，读写器就会接收到射频信号，并以某种形式保存下来，同时把信息传送到工作平台。消防员携带的标签位置未知，而读写器的位置是确定的，定位系统首先根据数据判定出射频信号的位置，然后根据算法测定出信号传播的时间、强度等数据，这些数据传递到总机，主机根据算法判定出具体位置。

2.手机定位^[10]

火灾现场情况复杂，特别是烟雾更是困扰消防员的桎梏，一旦受到烟雾的侵袭，呼吸困难，无法用语言来表达出准确的位置信息，后台也无法获得被困者的位置，此时通过手机定位系统，可以获得更多信息，找到被困人员。

3、GPSOne 定位技术^[11]

GPSOne^[12]是一种混合定位系统，也常用于消防员定位系统。通常是 GPS 和 CDMA 蜂窝移动通信两者相结合的混合技术运用。这两种技术获得被困者的信息，通过移动终端传递到定位服务器上，服务器运用设定的算法判定出被困者所处的位置信息，同时以三维的形式传递出来。GPS 定位离不开卫星的支持，但是卫星信号容易被建筑物遮挡，而 CDMA 技术正好能够弥补这一不足，两者相互结合，能够更好地改善定位技术，特别是用于消防员定位，取得了良好的效果。通常 GPS 定位信号准确度很高，再加上 CDMA 技术的有效补充就会更加精确的判定节点位置，如果 GPS 信号被遮挡，系统就会根据两种信息资源共同定位，一颗卫星或者是一个节点信号就能够实现定位。

4、航位推算（Dead-reckoning, DR）^[11]

DR 定位非常灵活，能够自由的根据信号资源判定位置信息。这种定位技术

主要是基于航向和距离传感器原理，通过算法测定航向角度实现的位置判断，运用这一技术获得的数据正确度非常高，并且具有灵活自主的特点。通常利用霍尼韦尔国际公司的三轴数字罗盘（HMC5883L），通过总机判定方向和角度以确定人员位置。同时通过该公司的三轴加速度计，对人员移动中的加速度变化进行快速的测量，通过三轴陀螺仪（L3G4200D），从三个角度定位消防员的位置。在世界各国的实践中，消防员通常把这些测量仪器捆绑在消防员的脚上，获取速度信息，其算法通常为：

$$\begin{cases} E_{k+1} = E_k + l_k \times \sin \alpha_k; \\ N_{k+1} = N_k + l_k \times \cos \alpha_k; \end{cases} \quad (1-1)$$

公式设定的正北坐标为 N_k ，正东坐标 E_k ，人员移动每步距离为 l_k ， k 时刻移动的角度为 α_k 。

5、ZigBee 的定位技术^[14]

基于 ZigBee 的室内定位技术是一种比较完善的技术，也是运用较广的定位技术。它主要是运用传感器实现信息的传递。ZigBee 定位技术具有简单快捷、能耗低、组网容易的特点，并且具有成本低廉的优势，被世界各国的广泛运用。因为火灾现场情况复杂，ZigBee 技术具有很强的抗干扰功能，能够适应火灾现场的各种复杂变化，特别是高温高压。此项技术之所以被广泛运用，还在于它的传输效率非常高。其传输设备主要由协调器、路由器、终端设备组成，协调器是整个技术的核心，位于网络的中心，通过多个途径进行协调。在实际运用中，通常不止一个 ZigBee 网络共同作用，这些网络能够互相弥补彼此的不足。当环境复杂、涉及面广时，就可以通过多个 ZigBee 网络来进行协调，扩大网络搜索的范围，增加搜索的准确度。这是此项技术独特的优势。

6、基于 ZigBee 的物联网定位技术^[15]

基于 ZigBee 的物联网定位技术主要是依据物联网发展的需求而研制的平台，通过 ZigBee 技术构建的高端建筑基于物联网的定位原理，当高层建筑发生火灾时，通过此技术，能够及时准确的进行救援，通过智能化的手段实现高层建筑的安全性能。基于物联网的定位技术主要通过阅读器（Reader）和 RFID 标签（Tag）来实现，其优势是能够快速读取信息，适合远距离信息传送和解读能力强，在重复使用和抗干扰、适应环境方面也是其他技术所不能比拟的。RFID 标

签具有惟一性的特点，它是有专门的芯片和天线构成。

7、基于 GPS 和 RSSI 的消防员轨迹推算方法^[17]

这种轨迹推算方法能够快速计算出节点的坐标，它可以通过 GPS 定位获得信号，根据信号的强度建立起损耗模型，从而推算出被困人员的确切位置坐标。消防员在执行任务时，随身携带信号传感器，即使不通过 GPS 信息，也能根据节点通过无线电技术传递信息，主机根据信息的强弱，计算出节点的坐标，然后产生消防员的运动轨迹，形象直观的展现消防员的位置。

8、UWB 的定位技术^[18]

此项技术主要是通过 UWB 信号的计算来获取消防员的位置。消防员随身携带信号源，进入火场后，信号源就会释放出 UWB 信号，信号经过无线传递到达消防车的总机上，总机根据传递的时间和角度，通过 TDOA/AOA 混合算法，判断消防员的位置坐标，由此锁定消防员的位置。此项技术的不足是测量的角度值误差较大，消防员位置并不固定，获得的数据稳定性能差。

1.3 主要研究内容

本课题在选题阶段，得到了上海万桂电子有限公司、中誉电子、温州市消防支队的鼎力支持，并且无偿的提供了相关研究项目的数据和技术支持，是本课题的研究进行的异常顺利。本论文通过大量的文献研究和实践分析，探讨了当今国内外常用的智能定位技术，在分析各种技术的优缺点的同时，探讨了火灾现场定位的复杂性和不确定性，各种定位技术难以发挥优势的现状。接着探讨了 ZigBee 技术实现定位所具有的优势，通过具体设计定位系统，实现对消防员的无线定位。在此项技术中可以通过多个节点的测定和定位，准确的判定消防员信息。利用网络的拓扑结构和阶段的运行速度以及方向，获取可靠和有效的数据，进一步实现信息的高精度。此技术还可以实现即时监控，更加准确的描述未知节点的运动状况。

本论文研究的方向主要包括以下三点：第一，通过对 SHAWING 模型中的 A 和 n 值进行测量，获得从盲节点到锚节点之间的精确地距离。A 和 N 分别代表不同的数据因子，A 表示 RSSI 值，N 表示衰减因子，这些数据并不是一成不变的，因为所处的环境不同，二者的值也有所改变。第二，多次测量和计算减少误差，提高定位精度。因为火灾现场环境瞬息变化，盲节点与锚节点的距离值并不

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.